DOI:10.11931/guihaia.gxzw201804021

峨眉拟单性木兰的开花生物学特性与繁育系统

余道平 [1,2], 李策宏 [2], 文香英 [3], 李小杰 [2], 彭启新 [1,2*], 谢孔平 [1,2]

(1. 四川省自然资源科学研究院，成都 610041；2.峨眉山植物园，峨眉山 614201，四川；3.中科院华南植物园，广州 510650)

摘 要： 峨眉拟单性木兰（*Parakmeria omeiensis*）为常绿乔木,树型优美,花香怡人,种皮橘红色,是一种优良的观赏植物。为了阐明其在自然条件结实率低的原因和确定最佳人工授粉时期,该研究通过观察峨眉拟单性木兰的开花动态,采用杂交指数估算、花粉胚珠比、花粉活力及柱头活性检测、人工授粉试验等方法对其繁育系统进行了研究。结果表明：（1）植物园保育的峨眉拟单性木兰花期在 4 月底到 5 月中下旬,持续 17-23 d,雄株始花期比雌株早 3-4 d,但两者花期可遇。(2)两性花经检测雄蕊败育,实为功能上的雌性,部分雄株个体的雄花上残留 1-2 个心皮,其性别分化是通过雌、雄蕊选择性败育形成的,为隐性雌雄异株（Cryptic dioecy）。（3）雄花、两性花开放经历佛焰苞开裂、花被片展开、盛开、闭合、二次开放、凋落 6 个阶段,历时 4 d。（4）雄花初次展开时花粉活力最高,达 92.8%,开花 2d 后活力显著下降；两性花柱头在花被片展开期可授性最强,盛开后柱头部分可授。（5）杂交指数为 5, P/O 比为 2.14×10^4。（6）套袋试验表明,峨眉拟单性木兰不能进行自花传粉,人工异花授粉的结实率和出种数显著高于自然授粉,且不存在无融合生殖。综上说明,峨眉拟单性木兰繁育系统为专性异交,传粉过程需要传粉媒介,自然条件下结实率低,主要是受传粉昆虫和柱头可授期短的限制。该研究结果为峨眉拟单性木兰资源的保护奠定了基础。

关键词： 峨眉拟单性木兰,极小种群,开花生物学,繁育系统,木兰科

Flowering biology and breeding system of *Parakmeria omeiensis*

YU Daoping[1,2], LI Cehong[2], WEN Xiangying[3], LI Xiaojie[2], PENG Qixin[1,2*], XIE Kongping[1,2]

(1. *Sichuan Provincial Institute of Natural Resource Science*, Chengdu 610015, Sichuan; 2. *Emeishan Botanical Garden*, Emeishan 614201, Sichuan; 3. *South China Botanical Garden*, CAS, Guangzhou, 510650, Guangdong)

Abstract: *Parakmeria omeiensis*, a small evergreen tree in Magnoliaceae, is a great ornamental plant with nice fragrance and orange seedcoats. In order to explain the reasons for the low seed-set

---

基金项目：四川省科技基础条件平台项目（2017TJPT0058）；四川省重点研发项目（2017SZ0090)；中央级公益性科研院所基本科研业务费项目（2017YSKY0009）；国际植物园保护联盟项目(BGCI30414)[Supported by Sichuan Science and Technology Infrastructure and Facility Development Program(2017TJPT0058); Sichuan Key Research and Development Program (2017SZ0090)； Central Public-Interest Scientific Institution Basal Research Program(2017YSKY0009)；Botanic Gardens Conservation International Program(BGCI30414)]。

作者简介：余道平（1978-）,女,四川内江人,硕士研究生,副研究员,主要从事珍稀濒危植物的保育研究,（E-mail）550265856@qq.com。

***通信作者：**彭启新,大专,工程师,主要从事野生植物资源的收集与繁育研究,（E-mail）64182967@qq.com。

-ting rate of *P. omeiensis* in natural condition and determine the optimum pollinating time. The floral character were studied through field observation in Mount Emei, the type of breeding system was estimated by out-crossing index (OCI), the pollen-ovule ratio (P/O), pollen viability and the stigma receptivity, And the artifical pollination experiments were carried out. The results were as follows：(1) The florescence of *P. omeiensis* was from late April to mid-late May. Male plants bloomed 3-4 d earlier than female plants, and their florescence were overlapped. (2) Bisexual flowers with pistils and stamen were actually female in reproductive function, 1-2 carpels remained on the male flower of some male plants. The selective abortion of either pistil or stamens led to sex differentiation. so *P. omeiensis* belongs to Cryptic dioecy. (3) The flowering process followed six stages from spathe dehiscence, tepal dehiscence, spreading, fully blooming, the second spreading to flowers withering, it took 4 d. (4) The viability of pollen in male flowers was 92.8% during the first spreading,and then it descended greatly after 2 d. The stigmas of bisexual flowers were strong receptivity when all tepals were spreading,while some stigmas were receptive after blooming. (5) The out-crossing index (OCI) was 5 and pollen/ovule was $2.14x10^4$, which indicated that *P. omeiensis* should be classified as an allogamous plant. (6) The artificial pollination revealed the self-pollination phenomenon did not existed and no apomixis phenomenon, The fruit-setting rate and seed-setting rate were significantly higher than that of natural pollination. In conclusion, the breeding system of *P. omeiensis* was obligate cross-pollination which requires pollinators, and its fruit-setting rate was limited by pollinators and the short pollination time under natural conditions. The results can promote for protecting the resources *P. omeiensis.*

Key words：*Parakmeria omeiensis*；Extremely small populations；Flowering biology；Breeding system；Magnoliaceae

峨眉拟单性木兰(*Parakmeria omeiensis* Cheng)是木兰科(Magnoliaceae)拟单性木兰属的常绿乔木, 树干通直, 叶片光亮、深绿, 花香怡人, 种皮橘红色, 是一种优良的观赏植物。该种是拟单性木兰属的模式种(胡先骕和郑万钧, 1951；刘玉壶等, 1995), 也是研究被子植物起源、系统发育的珍贵材料。峨眉拟单性木兰仅产于四川峨眉山, 分布于海拔 1 200～1 300 m 的常绿阔叶林中, 在峨眉山野外仅发现两个居群, 个体数量不到 100 株, 野外自我更新非常困难。1999 年被列为国家一级重点保护野生植物, 2007 年世界自然保护联盟(IUCN)全球红色名录将其列为极度濒危(CR)物种, 也是我国急需拯救保护的 120 种极小种群野生植物之一。由于其分布的局限性, 目前有关峨眉拟单性木兰的研究报道仅限于种群特征(庄平等, 1993)、组织培养(陈英和马明东, 2008)、繁育及迁地保育(余道平等, 2010；余道平和李策宏, 2017), 而未见其开花生物学方面的研究。

峨眉拟单性木兰在自然状态下虽开花量较大, 但其结实率低, 且果实不够饱满, 林下幼苗极少。这可能与其繁育系统密切相关, 因此, 本试验以保育在峨眉山植物园的峨眉拟单性木兰居群为研究对象, 探索其开花物候及其繁育特征，从生殖生物学角度找到其可能存在的濒危

原因,为有效保护该物种提供理论依据。

1. 材料与方法

1.1 研究地自然环境概况

峨眉山植物园(103°22’E, 29°35’N, 海拔 800 m)，该园区属于亚热带湿润季风气候，年均气温为 17.3 ℃, 绝对最高温度 34 ℃, 绝对最低温度-3 ℃, 年均降水量 1 555.3 mm, 年均相对湿度 85%, 年日照时数 1 398 h , 无霜期 300 d (方志强 等, 2017)。

1.2 开花进程及花部综合特征的观察

2015-2017 年连续 3 年随机选择未开放的雄花和两性花各 10 朵，对其进行标记，观察记录花朵形状，花粉散出时间、单花开放持续时间、花凋谢的先后顺序。随机摘取当天开放的雄花、两性花各 15 朵，统计花瓣数、雄蕊数量，采用游标卡尺测量花直径，雄蕊长度。并随机取开花各时期的花朵，固定于 FAA(50%乙醇:甲醛:乙酸=90:5:5)溶液中。

1.3 花粉生活力与柱头可授性的检测

采用过氧化物酶法对不同开花时期的花粉进行活力测定。随机选取不同时期的雄花、两性花 3 朵,将每朵花的花粉取出混匀后置于凹面载玻片上,加入试剂Ⅰ（0.15%联苯胺：0.5% α –萘酚：0.25%碳酸钠= 1：1：1)和试剂Ⅱ(0.3%过氧化氢)各 1 滴,搅匀后盖上玻片,30℃下经 10 min 后在 Olympus BH-2 型光学显微镜低倍镜下观察,统计 6 个视野全部花粉量及红色花粉,重复 3 次。花粉活力（%）= 红色花粉量/全部花粉量×100。

柱头可授性用联苯胺—过氧化氢法（Dafni, 1992）测定。随机选取不同开花时期的柱头各 5 枚,浸入含有联苯胺—过氧化氢反应液（1%联苯胺：3%过氧化氢：水= 4：11：22）的烧杯中,置于 Olympus BH-2 型光学显微镜低倍镜下观察其柱头的可授性。柱头周围呈蓝色并有大量气泡出现,表明柱头具有可授性。

1.4 花粉胚珠比(P/O）与杂交指数（OCI)的估算

随机选择 5 株雄株、两性花株，各采 2 朵即将开放的花蕾,FAA 溶液固定,用悬浮液法（王玉兵等,2011）测定花粉量。同时统计每朵花的胚珠数,再乘以心皮数,即得总胚珠数,用单花花粉量除以单花总胚珠数计算花粉胚珠比（P/O）。

按照 Dafni（1992）的标准进行花朵大小及开花行为的测量及繁育系统的评判。①花朵直径<1.0 mm 记为 0；1.0～2.0 mm 记为 1；2.1~ 6.0 mm 记为 2；> 6.0 mm 记为 3。②花药开裂时间与柱头可授期之间的时间间隔：同时或雌蕊先熟记为 0；雄蕊先熟记为 1。③柱头与花药的空间位置：同一高度记为 0;空间分离记为 1。三者之和为杂交指数(Out crossing index，

OCI）。繁育系统评判标准为：OCI=0 时为闭花受精；OCI=1 时为专性自交；OCI=2 时为兼性自交；OCI=3 为自交亲和，有时需要传粉者；OCI≥4 时为部分自交亲和，异交需要传粉者。

1.5 人工控制授粉试验

随机选取不同方向的花蕾，进行不同控制试验。因峨眉拟单性木兰两性花中雄性不育，可排除自花授粉的情况，只做如下 4 种处理。（1）自然对照：不作任何处理，标记挂牌至结实；（2）套袋处理：开花前用硫酸纸袋套住单花，挂牌标记至花凋落；（3）套网处理：花蕾期用尼龙网套住单花，挂牌标记至花凋落；（4）人工授粉：花蕾开放期，采集刚散粉的雄株花粉进行人工授粉，挂牌标记至花凋落。统计坐果情况，坐果率（%）=坐果数/花数×100。

1.3 数据处理

利用 Excel 2007 软件进行统计及图表绘制，用 SPSS19.0 软件对花粉活力、坐果率、每果实出种粒数进行单因素方差（One-way ANOVA）分析，统计数据用平均值±标准差表示。

2. 结果与分析

2.1 开花动态

2.1.1 花的形态特征及性别

峨眉拟单性木兰为单花顶生，具有佛焰苞 1 枚，花被片 9-12 枚，分内中外三层，乳白色并带有清纯的香味，雄花花冠直径为（5.6 ±0.38）cm，雄蕊（39.6±5.07）枚，花药长（2.5 ± 0.20）cm，花药内向开裂，花丝鲜红色（图版Ⅰ：A）；两性花花冠直径（图版Ⅰ：D）为（5.2±0.29）cm，雄蕊（25.2±2.88）枚，花药长（1.8±0.19）cm，花丝红棕色，花药隔紫色，绿色的雌蕊群呈椭圆状卵圆形，具短柄。



注：A. 雄花； B, C. 雄花上残留的 1-2 个柱头； D. 两性花

Note: A.Male flower; B.Male flowers with 1-2 carpels; D.Bisexual flower.

图版Ⅰ 峨眉拟单性木兰花器官结构

Plate Ⅰ Structure of floral organs

峨眉拟单性木兰花性别分化比较特殊，为雄花两性花异株，两性花虽然在形态上都具有雌蕊和雄蕊，但经检测其雄性不育，实为功能上的雌花，为隐性雌雄异株（Cryptic dioecy）。目前

保育在植物园里的峨眉拟单性木兰植株已有 25 株进入开花期, 其中雌株 10 株, 雄株 15 株。有部分雄株个体的雄花上有未完全败育的雌蕊柱, 残留 1~2 个心皮（图版Ⅰ：B, C）, 雄花的雄蕊花药饱满, 花粉量多, 成熟时能正常开裂散粉（图版Ⅰ：A）。两性花中的雄蕊发育不正常, 较雄花的短小、扁化, 数量少, 花粉囊不开裂, 位于雌蕊群下方；雌蕊发育正常, 子房膨大, 成熟时柱头能分泌大量粘液（图版Ⅰ：D）。

2.1.2 开花物候

连续 3 年对植物园居群的开花植株进行观察，结果见表 1。峨眉拟单性木兰 2 月底 3 月初花芽开始萌动，4 月底 5 月初为始花期（5%的花开放），5 月上旬为盛花期（50%的花开放），5 月中下旬为末花期（超过 75%的花开放），开花持续时间平均达 20 d，但每年的始花期、盛花期及末花期受天气影响较大。2015 年峨眉山地区 3—4 月份主要是阴雨天气，气温不高，开花期推迟到 5 月初；2016、2017 年峨眉山地区 3—4 月份天气以晴朗为主，气温较高，开花初期在 4 月底，盛花期及末花期提前 5~7 d。从表 1 可知，整个居群的开花初期在逐渐提前，且雄株比雌株提前开花，雌株较雄株花期短，单株开花为树冠上层先开，然后到中层，再到下层，阳面先开。野生居群的峨眉拟单性木兰由于海拔较高（1 200 -1 300m），花期较峨眉山植物园居群推迟 10-15 d。

表 1 峨眉拟单性木兰花期物候观察结果

Table 1 Flowering phenology of *P.omeiensis*

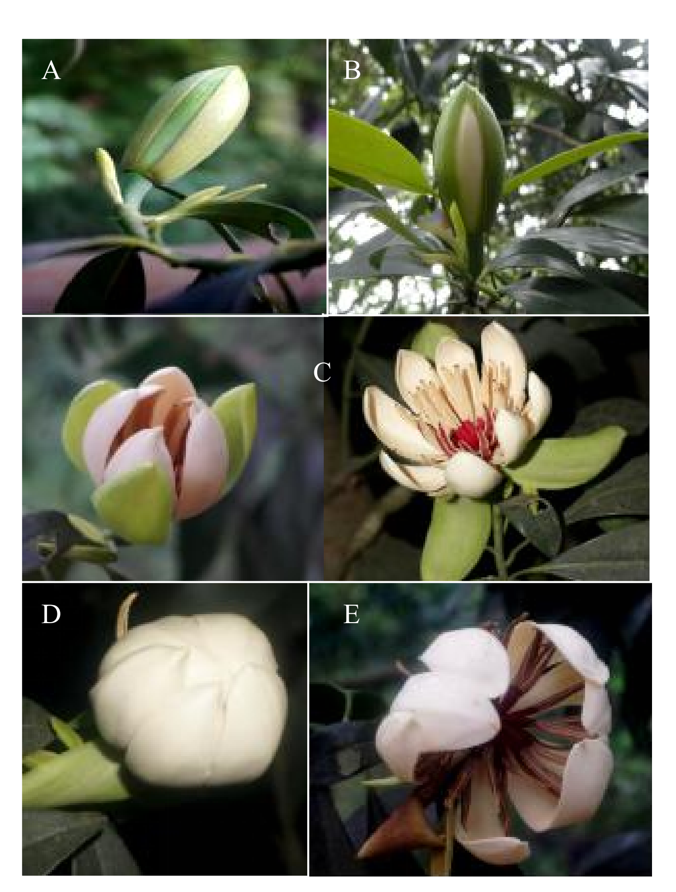
年份 Year	植株 Plant	始花期（日/月） Initial blossom (Day/Month)	盛花期（日/月） Profuse blossom (Day/Month)	末花期（日/月） Final blossom (Day/Month)	持续时间（天） Duration（Days）
2015	雄株 Male plant	1/5	11/5	22/5	21
	雌株 Female plant	4/5	10/5	22/5	18
2016	雄株 Male plant	24/4	6/5	17/5	23
	雌株 Female plant	28/4	6/5	15/5	17
2017	雄株 Male plant	23/4	5/5	15/5	22
	雌株 Female plant	26/4	5/5	14/5	18

2.1.3 单花开花进程

从单花开放进程来看，佛焰苞开裂到所有花被片脱落可持续 4 d。雄花和两性花都经历了佛焰苞开裂、花被片开裂、展开、闭合、二次开放、凋落 6 个阶段。其中雄花的佛焰苞从

9：00 时开裂（图版 II：A） 到其脱落需要 5 h，14:00 时外轮花被片开裂（图版 II：B），4 h 后（下午 6 点半时）所有的花被片展开，此时雄蕊花药开裂，开始散粉。1.5 h 后达到盛开（图版 II：C），此时绿色的外轮花被片逐渐向下反卷，盛开状态维持 1 h 后，中轮和内轮花被片开始慢慢闭合，到 21:00 时，完全处于闭合（图版 II：D），外轮花被片继续向花托方向卷曲。第 2 天上午白色的两轮花被片仍处于闭合状态，闭合时间达 17~18 h，直到下午 2~3 点花被片慢慢再次打开，花粉已散完，第 3 天花被片继续打开，外轮花被片和花药开始变褐，第 4 d 花药和花被片慢慢凋谢、脱落（图版 II：E）。

两性花与雄花开花动态基本一致，两性花中的雄蕊低于雌蕊柱，且不散粉，在花被片初次展开期，柱头会有大量粘状分泌物，花完全打开维持的时间较雄花稍长(1.5~2 h)，然后慢慢闭合，第 4 天柱头顶端开始变褐，花药和花被片开始凋谢(图版 III)。

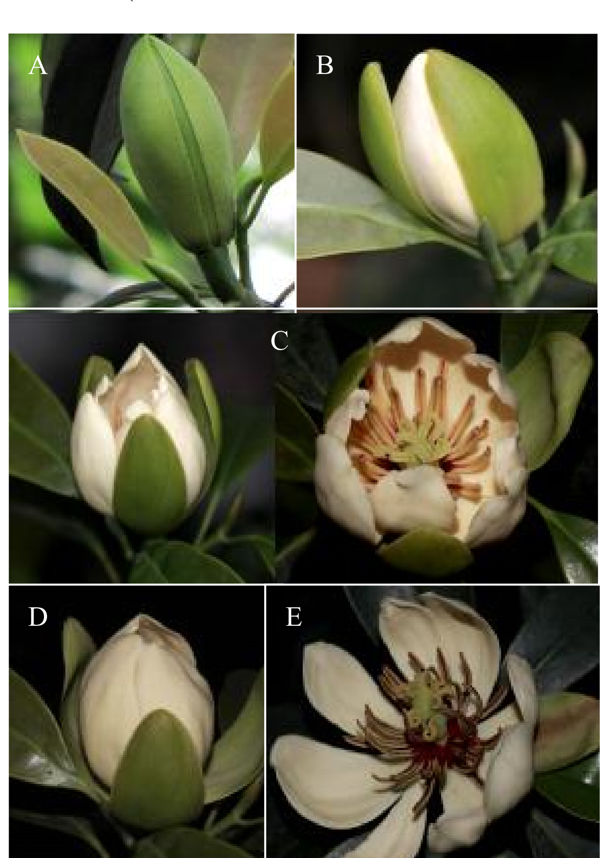


注：A. 佛焰苞开裂； B. 花被片开裂； C. 展开 D. 闭合； E. 凋落.

Note：**A.** Spathe dehiscence; **B.** Tepal dehiscence; C. Spreading; **D.** Closing; **E.** Withering.

图版 II 雄花开花进程

Plate II Flowering process of male flowers



注：A. 佛焰苞开裂； **B.** 花被片开裂； **C.** 展开； **D.** 闭合； **E.** 凋落.

Note：**A.** Spathe dehiscence; **B.** Tepal dehiscence; C. Spreading; **D.** Closing; **E.** Withering.

图版 III 两性花开花进程

Plate III Flowering process of bisexual flowers

2.2 花粉活力和柱头可授性

不同时期的雄花花粉活力检测结果表明，散粉当天花粉活力最强，平均达（92.8±1.67）%，开花第二天略低，为（80.6±1.33）%，开花第三天，花粉活力仅为（35.7±0.67）%。两性花

中的雄蕊花药不开裂，花粉极少，且无活力。不同开花进程柱头可授性检测结果见表 2，在花被片初次展开期间，柱头可授性最强，此时柱头有大量粘性分泌物，向下反展成鸡冠状，盛开时部分柱头可授性，闭合与二次展开期间柱头均不具有可授性。

表 2 不同时期柱头可授性及其形态特征

Table 2 Stigma receptivity and its morphology of bisexual flowers in different periods

开花进程 Flowering process	柱头可授性 Stigma receptivity	柱头性状 The character of stigma
外花被片开裂 Outer tepal dehiscence	–	柱头紧靠子房、无粘液、绿色 Close to the ovary, no mucilage, green
展开 Spreading	++	柱头伸长、反展成鸡冠状、有大量白色粘液 Elongated,flat downward, looked like a cockcomb with massive white mucilage
盛开 Blooming	+/–	继续向下反展、浅褐 Flat downward, light brown
闭合 Closing	–	反展、褐色 Flat downward, brown
二次开放 The second spreading	–	反展、深褐色 Flat downward, dark-brown

注：+表示柱头可授性强； +/–表示柱头部分具有可授性； –表示无柱头具有可授性。

Note：+ means stigmas have strong receptivity; +/– means parts of stigmas have receptivity; – means no-receptive stigma.

2. 3 花粉胚珠比（P/O）和杂交指数(OCI）的估算

峨眉拟单性木兰的雄花单花花粉量为 4.27 ×10^5 粒，两性花单花雌蕊具有 9-12 心皮，平均胚珠数 20 个，P/O 比为 2.14 ×10^4。依据 Cruden（1977）的标准，当 P/O 值为 2.7~5.4 时为闭花受精；P/O 值为 18.1-39.0 时位专性自交；P/O 值为 31.9~396.0 时为兼性自交；P/O 值为 244.7~2588.0 时为兼性异交；P/O 值为 2 108.0~1 955 25.0 时为专性异交。峨眉拟单性木兰繁育系统为专性异交类型，这与其花的类型及花性别特征相一致。

根据 Dafni（1992）的标准，峨眉拟单性木兰的单花直径>6.0 mm 记为 3，柱头与花药的空间分离记为 1，雌雄蕊成熟不一致，记为 1。因此，峨眉拟单性木兰的杂交指数 OCI=5，其繁育系统为异交，需要传粉者。

2.4 人工控制授粉试验结果

对峨眉拟单性木兰不同授粉处理的坐果情况进行比较发现，人工授粉、套袋和套网处理的坐果率与自然授粉坐果率差异显著异，人工授粉的坐果率(93.3±4.4)%、出种数(14.9±1.2)粒显著高于自然授粉。套网处理的坐果率显著低于自然对照，高于套袋处理，说明传粉媒介对结实有显著的影响。套袋无结实现象，说明峨眉拟单性木兰不存在无融合生殖现象。

表 3 峨眉拟单性木兰不同授粉处理试验结果

Table 3 Test results of four different pollination treatments of *P. omeiensis*

处理 Treatment	花朵数 No. of treated flowers	聚合果数 No. of aggregated fruits	坐果率(%) Fruit setting rate (±SD)	出种数 No. of full seeds	平均每果实出种粒数 Mean no. of Seeds per fruit
自然授粉 Natural pollination	30	14	46.7±4.4b	97	6.93±0.9b
套袋 Bagged	30	0	0e	0	0e
套网 Netted	30	5	16.7±6.7c	21	4.20±0.4c
人工授粉 Artificial pollination	30	28	93.3±4.4a	418	14.9±1.2a

注：表中同列不同小写字母表示 5%水平上差异显著。

Note： Different normal letters in the same column mean significant difference at 5% level.

3. 讨论与结论

3.1 峨眉拟单性木兰开花特性、花性别与生殖适合度

由于近交衰退, 植物演化成了诸如雌雄异熟、雌雄异位、异长花柱、自交不亲和等多种促进异交的形态和生理机制(Barre et al，2000)。木兰科植物花的特点具有雌雄异熟、雌雄异位的特点（潘丽琴等，2018；Wang et al，2010；孟希等，2011）。峨眉拟单性木兰的两性花在形态上虽具有雌蕊和雄蕊, 但经检测其雄性不育, 实为功能上的雌性, 为隐性雌雄异株（Cryptic dioecy）, 这样的性系统在植物界极少见。这与同属的云南拟单性木兰（徐加汉等, 2002）和乐东拟单性木兰（徐凤霞, 2002）表现的性别分化类型相同, 这是植物促进异交、适应生境、争取生殖成功的一种途径。迁地保育的峨眉拟单性木兰居群初花期集中在 4 月底 5 月初，而年度间出现的差异可能是由于气候条件的差异所引起的。虽然雄株较雌株先开放 3-5 d，但单株开花可持续 20 d 左右，与雌株花期有重叠现象，因此，不存在花期不遇的问题。

3.2 峨眉拟单性木兰二次开合的生物学意义

对大部分植物来说，开花通常是一次性绽放，之后花瓣凋谢而终止开花进程，而峨眉拟单性木兰开花进程是开放和闭合交替进行的，称之为“二次开合”。峨眉拟单性木兰的雄花和两性花盛开后大约维持 1-2 h 后慢慢进入闭合，闭合状态要维持约 17-18 h。据报道，多数木兰科植物的开花存在二次开合现象，如木兰属的白玉兰 *Magnolia denudata*（Wang et al, 2010）、广玉兰 *Magnolia grandiflora*（孟希等, 2011）、天女木兰 *Magnolia sieboldii*（于思桦等, 2017）、木莲属的大果木莲 *Manglietia hookeri*（付玉嫔等, 2010）、厚叶木莲 *Manglietia pachyphylla*（杨晓丽, 2013）、 灰木莲 *Manglietia glauca*（潘丽琴等, 2018）。但不同植物

其二次开合所表现的雌雄性征有所不同，峨眉拟单性木兰雄花在第一次展开时雄蕊已成熟、花药开裂、花粉散出，到第二次打开时，花粉已基本散完。这一结果与雌雄同体的广玉兰、白玉兰二次开合的性状表现有所不同，由于它们存在雌雄异熟现象，其雌蕊成熟时促使其初次展花，雄蕊成熟时促使其第 2 次展花。而峨眉拟单性木兰在雄花第一次展花时，雄蕊就已成熟了。有报道认为植物开放后再闭合这一生物学特性有利于保护柱头（付玉嫔等, 2010；潘丽琴等，2018），使花内形成小温室促进散落在柱头的花粉萌发，为传粉昆虫提供庇护场所增加昆虫的传粉效率（Wang et al，2010），也能避免其他物种花粉的二次干扰，以保证自身物种的纯度，这是植物的一种生殖策略。

3.3 峨眉拟单性木兰繁育系统特征

峨眉拟单性木兰雄花散粉时花粉活力很强，开花当天为 92.8%，花粉量较大, 为 $4.27x10^5$ 粒，完全足够让每一个胚珠受精。因此, 花粉活力、花粉量不影响峨眉拟单性木兰的生殖过程。这与目前有关木兰科植物花粉特性的报道一致（杨旭等, 2012；刘坤良等, 2013；柴弋霞等, 2017）。柱头可授期是花朵成熟过程中的一个重要时期, 因物种的差异而有所不同, 一般持续时间从几小时到十几天不等。有些植物当其柱头具有可授性时常伴随着明显的形态变化, 如出现分泌物、颜色发生变化、柱头分裂等。经观察, 峨眉拟单性木兰在具有可授性时, 柱头有大量白色粘性的液体分泌物, 柱头向下反卷, 绿色, 花被片第一次展开到闭合这期间柱头具有最强的可授性，维持的时间较短，这与同属的云南拟单性木兰（徐加汉等, 2002）和乐东拟单性木兰（陈红锋, 2006）的柱头形态变化一致。峨眉拟单性木兰 P/O 值为 $2.14x10^4$，杂交指数为 5，按 Cruden（1977）和 Dafni（1992）的标准，峨眉拟单性木兰的繁育系统为专性异交。在我们的观察中只发现了 6 种访花昆虫，且在花被片第一次展开期间访花昆虫很少，待花被片闭合后才会有较多的昆虫来访花，而此时柱头可授性大大降低，无法保证传粉的成功。这与孙燕（2015）和赖家业等（2007）有关光叶木兰 (*Magnolia dawsoniana*)和单性木兰(*Kmeria septentrionlis*)的研究结果一致。因此，有效传粉昆虫的缺乏和较短的柱头可授期是峨眉拟单性木兰结实率低的主要原因。胚珠数决定每个果实的最大种子数量，从而影响种子产量。在本研究中，峨眉拟单性木兰的平均胚珠数为 20，若所有胚珠受精且发育，则平均每个果实发育成 20 粒种子，然而在自然条件下每果实出种量平均不到 7 粒，而人工授粉显著提高了其结实率和出种量，平均每果实出种数接近了 15 粒，说明传粉是影响峨眉拟单性木兰生殖成功的关键环节。

参考文献：

BARRETT SCH, JESSON LK, BAKER AM, 2000. The evolution and function of stylar poly--morphisms in flowering plants [J]. Ann Bot, 85(S)：253-265.

CHAI YX，CAI MY，JIN XL，et al，2017. Pollination biology of *Michelia crassipes* [J]. Guihaia, 37(10)：1322-1329. ［柴弋霞,蔡梦颖,金晓玲， 等， 2017. 紫花含笑传粉生物学初探[J].广西植物,37(10)：1322-1329.］

CHEN HF, 2006. Study on conservation biology of *Parakmeria lotungensis* [D]. Guangzhou：South China Botanical Garden, CAS：1-147.［陈红锋,2006.濒危植物乐东拟单性木兰的保护生物学研究[D]. 广州：中科院华南植物园：1-147.］

CHEN Y, MA MD, 2008. Axillary bud and callus induction of stem segment endangered plant of *Parakmeria omeiensis* [J]. Ann For Sci，33(1)：10-12.［陈英,马明东,2008.濒危植物峨眉拟单性木兰茎段腋芽及愈伤组织诱导[J].林业科技,33 (1)：10-12.］

CRUDEN R W. Pollen-ovule rations：A conservative indicator of breeding systems in flowering p-lants[J]. Evolution, 1977, 31：32-46.

DAFNI A, 1992. Pollination biology-practical approach[M]. New York：Oxford University Press：1-57.

FANG ZQ, LI CH, YU DP, et al, 2017. Report on biodiversity monitoring and assessment of Mount Emei.［方志强，李策宏，余道平，等，2017.峨眉山生物多样性监测与评估报告].

FU YB, CHEN SY, WU T, 2010. Comparison of floral traits and breeding system of endangered plant *Manglietia grandis* and non-endangered plant *Manglietia hookeri*[J]. J Northeast Fort Univ,38(4)：6-10.［付玉嫔，陈少瑜，吴涛，2010. 濒危植物大果木莲与中缅木莲的花部特征及繁育系统比较[J].东北林业大学学报，38(4)：6-10.]

HU XS, ZHENG WJ, 1951. A new genus-Parakmeria Hu et Cheng of Magnoliaceae in the southwest of China[J]. Acta Phytotax Sin, 1(1)：1-3.[胡先骕，郑万均，1951. 拟克抹丽木,中国西南部木兰科一新属[J].植物分类学报,1(1)：1-3.］

LAN JY, PAN CL, QING WG, et al, 2007. Pollination ecology of rare and endangered species *Kmeria septentrionlis* [J]. Guihaia, 27(5)：736-740.［赖家业,潘春柳,覃文更,等,2007.珍濒危植物单性木兰传粉生态学研究[J]. 广西植物,27(5)：736-740.］

LIU KL, WANG YL, ZHANG SZ, 2013. Flowering biology and pollen germination of *Magnolia championii* [J]. Subtrop Plant Sci, 42(4)：293-296.［刘坤良,王亚玲,张寿洲,2013.香港木兰开花生物学研究[J].亚热带植物科学,42(4)：293-296.］

LIU YH, XIA NH, YANG HQ, 1995. The origin, evolution and phytogeography of magnoliaceae [J]. J Trop & Subtrop Bot, 3(4)：1-12.[刘玉壶，夏念和，杨惠秋,1995，木兰科的起源、进化和地理分布[J]. 热带亚热带植物学报,3(4)：1-12.］

MENG X,WANG RH, XIE L, et al, 2011. Flowering dynamics and dichogamous mechnism in *Magnolia grandiflora* [J]. J Beijing For Univ, 33(4)：63-69.［孟希,王若涵,谢磊等,2011.广玉兰开花动态与雌雄异熟机制的研究[J].北京林业大学学报,33(4)：31-33.］

PAN LQ, HAO J, XU JM, et al, 2018. Flowering dynamics and dichogamy characteristics of *Manglietia glauca* for two-time flower opening and closure [J]. J Zhenjiang A & F Univ, 35(1)：96-103.［潘丽琴,郝建,徐建民,等,2018. 灰木莲二次开合开花动态与雌雄异熟特征[J]. 浙江农林大学学报,35 (1)：96-103.］

QianY, Li YX, Chen LY, et al,2015. Pollination biology of *Michelia maudiae* [J]. Guihaia, 35(1)：35-41.［钱一凡,黎云祥,陈兰英,等,2015.深山含笑传粉生物学研究[J].广西植物, 35(1)：35-41.］

SUN Y, 2015. Study on reproductive biology of the rare andprotected plant-*Magnolia dawsoniana* [D]. Chengdu：Sichuan Agricultural University：1-55. [孙燕, 2015. 珍稀保护植物光叶木兰生殖生物学研究[D]. 成都：四川农业大学：1-55.]

WANG RH, JIA H, ZHANG ZX, et al, 2010. Flowering and pollination patterns of *Magnolia denudata* with emphasis on anatomical changes in ovule and seed development [J]. Flora, 205(4)：259-265.

WANG YB, LIANG HW, MAI NB, et al, 2011. Flower phenology and breeding system of rare and endangered *Dayaoshania cotinifolia* [J]. Acta Bot Sin,31(5)：861-867. [王玉兵, 梁宏伟, 莫耐波, 等, 2011. 珍稀濒危植物瑶山苣苔开花生物学及繁育系统研究, 西北植物学报, 31(5)：861-867.]

XU FX, 2002. Study on pollen morphology of *Parakmeria lotungensis* [J]. Guihaia, 22：(2)：157-159. [徐凤霞, 2002. 乐东拟单性木兰花粉形态观察[J]. 广西植物, 22 (2)：157-159.]

XU JH, LI DX, LI YY, 2002. Biological and ecological characteristics of *Parakmeria yunnanensis* and its role in urban afforesting and greening [J]. West For Sci &Technol, (2)：31-33. [徐加汉, 李达孝, 李玉媛. 2002, 云南拟单性木兰生物生态学特性及其城市绿化的作用[J]. 西部林业科技, (2)：31-33.]

YANG XL, 2013. Studies on conservation biology of endangered species *Manglietia Pachyphylla* [D]. Beijing：University of Chinese Academy of Sciences：1-74. [杨晓丽, 2013. 濒危植物厚叶木莲的保护生物学研究[D]. 北京：中国科学院大学：1-74.]

YANG X, YANG ZL, WANG J, et al, 2012. Flora syndrome and breeding system of endangered species *Magnolia officinalis* subsp. *biloba* [J]. Chin J Ecol, 31(3)：551-556. [杨旭, 杨志玲, 王洁, 等, 2012. 濒危植物凹叶厚朴的花部综合特征和繁育系统[J]. 生态学杂志, 31(3)：551-556.]

YU DP, LI CH, 2017. Resuming *Parakmeria omeiensis,* an critically endangered species endemic to Sichuan, China [J]. Greentianhu, (9): 26-27. [余道平, 李策宏, 2017. 极度濒危植物峨眉拟单性木兰的拯救保护[J]. 绿色天府, (9)：26-27.]

YU DP, LI CH, DING J, XIE KP, ZHANG GZ, 2011. Preliminary report on character of seed and seed culture in virto of *Parakmeria omeiensis*[J]. Resource Dev & Mark, 27(3)： 197-198.[余道平, 李策宏, 丁健, 等, 2011. 峨眉拟单性木兰种子特性及离体培养初报[J]. 资源开发与市场, 27(3)：197-198.]

YU SH, 2017. The preliminary study on characteristics of reproductive biology in *Magnolia sieboldii* in Shenyang[D]. Shenyang：Sichuan Agricultural University：1-41.[于思桦, 2017. 沈阳地区天女木兰生殖生物学特性的初步研究[D]. 沈阳：沈阳农业大学：1-41.]

ZHANG P, LIU RY, LIANG KH, 1993. A preliminary study on phytocoenological characteristics of *Parakmeria omeiensis* community [J]. Guihaia, 13(1)：61-69. [庄平, 刘仁英, 梁开和. 1993. 峨眉拟单性木兰群落特征的初步研究[J]. 广西植物, 13(1)：61-69.]